

Mäntymetsiköiden taloudellisesti kannattavin käsittely, hiilinielujen lisäys ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Sampo Pihlainen

Ilmastonmuutos on aikamme suurimpia haasteita. Metsien hiilinieluvaikutuksen kasvattaminen voi olla ratkaiseva avain ilmastonmuutoksen hillinnässä. Metsien hiilinielut ovat nykyiselläänkin valtavat. Ne sitovat globaalisti vuosittain noin puolet fossiilisista polttoaineista tulevista päästöistä (Pan ym. 2011). Lisäksi metsien hiilinieluissa on merkittävästi kasvupotentiaalia (IPCC 2014, s.101). Tämän potentiaalın täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää metsänhoidon muuttamista ottamaan taloudellisesti optimaalisella tavalla huomioon toisaalta metsien hiilensidonta ja toisaalta ilmastonmuutoksen myötä muuttuvat kasvuolosuhteet. Väitöskirjan kolmessa artikkelissa kootaan kuvailun kaltaisessa metsänhoidon optimoinnissa tarvittava taloudellis-ekologinen malli.

Väitöskirjassa keskitytään borealisella vyöhykkeellä kasvaviin tasaikäisiin mäntymetsikköihin. Laskenta toteutetaan Fennoskandi-

an kaikissa puuntuotannon kannalta olennaisimmissa männynkasvuolosuhteissa, jotka kattavat 50 % Suomen mäntyvaltaisista metsistä ja 85 % Etelä-Suomen mäntyvaltaisista metsistä. Metsiköllä tarkoitetaan tyypillisesti hehtaarin kokoista homogeenista metsän osaa, joka voi siis olla osa suurempaa metsää. Metsikkötason tulokset voidaan helposti aggregoida koko metsän tai alueen tasolle, jos mittakaavaedut ovat vähäisiä. Tasaikäisyydellä tarkoitetaan oletusta, että kaikki metsikön puut ovat saman ikäisiä, metsänuudistamisessa kylvetyjä tai istutettuja. Metsänhoito koostuu taimikonhoidon jälkeen mahdollisista harvennushakkuista ja lopuksi tulevasta päätehakkuusta, jonka jälkeen metsä uudistetaan kohti uutta kiertoaan.

Männyn (*Pinus Sylvestris* L.) valintaa tutkimuskohteeksi puoltaa sen poikkeuksellisen laaja levinneisyys yli Euraasian (Boratynski

Kirjoitus perustuu Helsingin yliopistossa 15.12.2017 tarkastettuun väitöskirjaan “On the economics of boreal Scots pine management under climate change”. Väitöstilaisuudessa vastaväittäjänä toimi professori Peichen Gong (SLU) ja kustoksena professori Olli Tahvonen (Helsingin yliopisto). FT Sampo Pihlainen (sampo.pihlainen@helsinki.fi) työskentelee tutkijana ja opettajana Helsingin yliopistossa.

1991). Lisäksi sen taloudellinen merkitys varsinkin Pohjoismaissa on ollut suuri. Mänty kestää kuumuutta verrattain hyvin, joten ilmastomuutoksen myötä sen tärkeyden on enustettu borealisella vyöhykkeellä kasvavan entisestään (Lutz ym. 2013).

Huolimatta männyn valtavasta merkityksestä puuntuotannossa ja hiilivarastona, sen taloudellisesti optimaalista käsittelyä on tutkittu hämmästyttävän vähän. Lisäksi tutkimuksissa on käytetty tavallisesti liian yksinkertaisia mallia, jossa optimoidaan vain päätehakkuun ajankohtaa eli kiertoajan pituutta. Harvennushakkuiden lukumäärän, intensiteetin, ajankohdan ja tyypin (ylä-/alaharvennus) optimointi on kuitenkin erittäin tärkeää, sillä harvennushakkuut saattavat tuottaa yli 40 % puunmyyntituloista. Toinen yleinen piirre aiemmissä tutkimuksissa on tilastollis-empiristen metsänkasvumallien käyttö. Tällaiset mallit on estimoitu käyttäen metsäkoealoja, ja ne ovat siten valideja vain koealojensa olosuhteiden puitteissa. Väitöskirjassa käytetäänkin niin sanottua prosessipohjaista metsänkasvumallia, jossa metsikön kasvu lasketaan hyödyntäen ekologista tietämystä puun yhteytystuotoksen jakaantumisesta puun eri toimintojen välillä. Tällainen malli tuottaa luotettavampia tuloksia kuin metsäkoealojen kasvun perusteella rakennetut tilastollis-empiriset mallit, kun metsän kasvua arvioidaan ennen kokemattomissa metsän kasvuolosuhteissa tai kun metsää käsitellään uusilla käsittelyketjuilla ja toimenpiteillä.

Mäntymetsiköiden hoidon optimointi edellyttää siis poikkitieteellistä lähestymistapaa, jossa yhdistetään metsikön kasvua yksityiskohteisesti kuvaava ekologinen malli tarkkaan taloudelliseen kuvaukseen mäntymetsiköiden hoidon yksityiskohdistista. Jälkimmäinen tuo

mukaan metsänomistajalle olennaiset tekijät: metsän uudistuskustannukset, tukkiluokkien ja kuitupuun hinnat, sekä diskonttokoron. Väitöskirjaani kuuluvissa tutkimuksissa käytetään laatuhinnoittelua kolmella eri tukkiluokalla ja yksityiskohtaista ajanmenekkiperustaista kustannusfunktiota hakkuu- ja lähikuljetuskustannusten määritykseen. Lisäksi on otettu huomioon metsänhoidon käytännön rajoitteita; esimerkiksi ensimmäisessä harvennuksessa on tehtävä metsäkoneelle ajourat. Harvennusten intensiteetille taas on asetettu yläraja tuuli- ja lumituhojen riskin pienentämiseksi.

Mäntymetsiköiden taloudellisesti kannattavimman käsittelyn määrittäminen tarkoittaa metsänomistajan tulojen nettohyötyarvon maksimoivan käsittelyn ratkaisemista yli äärettömän aikahorisontin. Ratkaiseminen tapahtuu tyypillisesti käyttämällä puuston optimikiertoaikamallia, jonka perusmuoto (Faustmann 1849) on iältään vertaansa vailla (pätevien) luonnonvarataloustieteellisten mallien joukossa (Viitala 2016). Väitöskirjassani käytetään tästä mallista laajennettua versiota, joka sisältää muun muassa mahdollisuuden tehdä harvennushakkuuta. Väitöskirjani ensimmäisessä artikkelissa (Tahvonen ym. 2013) metsänomistaja saa tuloja vain puun myynnistä. Laskennassa määritettiin optimaalisen metsikön alkutiheyden lisäksi optimaalinen harvennusten ajoitus, lukumäärä, intensiteetti ja tyyppi, sekä päätehakkuun ajankohta. Kyseisessä tutkimuksessa optimoitavien muuttujien suuri määrä mahdollisti aiempia tutkimuksia tarkemman kuvauksen mäntymetsiköiden optimaalisesta hoidosta. Optimoitujen harvennusten havaittiin tuottavan pidempiä kiertoaikoja, sekä suuremman puuntuotoksen ja paremman taloudellisen tuloksen.

Suomeen on ehdotettu hiilitukijärjestelmää, jossa hiilen sitomisesta kasvavaan metsään palkitaan. Väitöskirjani toisessa artikkelissa (Pihlainen ym. 2014) metsänomistaja saa tuloja hiilitukijärjestelmästä puunmyyntitulojen ja hakkuutähteiden myynnistä bioenergiaksi saatavien tulojen lisäksi. Mallimme hiilensidontatukijärjestelmän pohjana on Uudessa-Seelannissa jo käytössä oleva järjestelmä, jossa metsänomistaja vastaanottaa tukea metsään sitoutuneesta hiilestä (Adams ja Turner 2012). Tuki kuitenkin leikkautuu kuolleista ja hakatuista puista vapautuvan hiilen vuoksi. Olemme tarkentaneet tätä järjestelmää ottamalla mukaan tuotteiden vähittäisen hajoamisen. Näin ollen hiilituki kannustaa lisäämään sahatukin tuotantoa, sillä siitä tehdään pitkäikäisempiä tuotteita kuin kuitupuusta. Tutkimusessamme hiilen hinnoittelun havaittiin pidentävän kiertoaikaa, lisäävän harvennusten lukumäärää ja kasvattavan metsikön alkutiheyttä. Puuntuotoksen todettiin kasvavan hiilivaraston kasvaessa.

Hiilitukijärjestelmä muuttaa taloudellista optimiratkaisua hiilensidontaa lisäävään suuntaan. Tällöin siis liikutaan pois pelkkien puunmyynti- ja bioenergiatulojen nettohyödyn maksimoivasta ratkaisusta. Hiilensidonnan kasvatuksen kustannuksena voidaan siis pitää aiheutuvaa vähennystä puunmyynti- ja bioenergiatulojen nettohyödyn osassa. Näitä kustannuksia tarkastellaan väitöskirjassa myös kansallisella tasolla mäntyvaltaisissa metsiköissä, ja niitä verrataan hiilipäästöjen vähentämiskustannuksiin energiantuotannossa. Vertailusta käy ilmi, että Suomen mäntyvaltaisten metsiköiden hiilensidonnan lisääminen esimerkiksi hiilitukijärjestelmän avulla näyttää kustannustehokkaalta verrattuna päästöjen vähentämiseen talouden muilla sektoreilla.

Tulokset ovat kiinnostavia myös metsien monimuotoisuuden kannalta. Hiilitukijärjestelmän myötä nousee esiin metsässä hitaasti hajoavien kuolleiden puiden hiilivarasto. Tuen myötä taloudellisissa optimiratkaisuissa annetaan useamman puun kuolla luontaisesti, mikä on hyvä uutinen kuolleesta puusta riippuvaisille lajeille.

Väitöskirjani kolmannessa artikkelissa (Pihlainen ym. 2018) tutkimme muuttuvan ilmaston vaikutuksia taloudellisesti optimaaliseen metsänhoitoon. Muuttuvan ilmaston mallissamme lämpötila nousee, ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kasvaa, maaperän ravinteiden vaihdunta tehostuu ja kuivuuskaudet lisääntyvät. Nämä muutokset vaikuttavat mallissamme suoraan puiden kasvuun. Oletamme ilmaston muuttuvan jokseenkin tasaisesti ensimmäisen sadan vuoden ajan, ja pysyvän sen jälkeen stabiilina. Tästä seuraa erittäin vaativa optimointitehtävä, sillä metsänkäsittely peräkkäisten kiertoaikojen aikana ei välttämättä pysy samana. Tulosten mukaan ilman hiilitukijärjestelmää optimaaliset kiertoajat ensin pitenevät ja sitten lyhenevät ilmaston muuttuessa, ja lisäksi harvennusten lukumäärä ja intensiteetti kasvavat. Hiilitukijärjestelmän myötä optimikiertoajat pääsääntöisesti lyhenevät ilmastomuutoksen edetessä. Puuntuotos ja puiden hiilivarasto kasvavat merkittävästi ilmastomuutoksen seurauksena, varsinkin karuilla kasvupaikoilla.

Väitöskirjan kolmannessa artikkelissa esittelen menetelmä ilmastomuutokseen sopeutumisen taloudellisen hyödyn määrittämiseen metsiin liittyvässä luonnonvarataloustieteessä. Hyöty on laskettu vertaamalla muuttuvaan ilmastoon optimaalisesti sopeutettua ratkaisua vaihtoehtoon, jossa metsänhoitoa ei sopeuteta vaikka ilmastomuutos muuttaakin kasvuolo-

suhteita. Tulokseksi saadaan, että metsänkäsitelyyn optimaalinen sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon tuo merkittävän lisän metsänomistajan tuloihin.

Väitöskirjan toista artikkelia (Pihlainen ym. 2014) käsiteltiin tieteenfilosofisessa artikkelissa (MacLeod ja Nagatsu 2016), jossa sen todettiin tuovan esille kaksi asiaa. Ensinnäkin,

artikkeli nähtiin hyvänä esimerkkinä siitä, kuinka ulkoisvaikutukset voidaan ottaa huomioon taloudellisessa optimoinnissa. Toisaalta tuotiin esille, kuinka artikkelissa käytetty monimutkainen poikkitieteellinen malli säilyy kaikesta huolimatta riittävän selkeänä, jotta mallin jatkolajennukset ovat mahdollisia. □

Kirjallisuus

- Adams, T. ja Turner, J. (2012), “An investigation into the effects of an emissions trading scheme on forest management and land use in New Zealand”, *Forest Policy and Economics* 15: 78–90.
- Boratynski, A. (1991), “Range of natural distribution”, teoksessa Giertych, M. ja Mátyás, C. (toim.), *Genetics of Scots Pine*, Akadémiai Kiadó, Budapest: 19–30.
- Faustmann, M. (1849), “Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen”, *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 15: 441–455.
- IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (toim.)]. IPCC, Geneva.
- Lutz, D., Shugart, H. ja White, M. (2013), “Sensitivity of Russian forest timber harvest and carbon storage to temperature increase”, *Forestry* 86: 283–293.
- MacLeod, M. ja Nagatsu, M. (2016), “Model coupling in resource economics: Conditions for effective interdisciplinary collaboration”, *Philosophy of Science* 83: 412–433.
- Pan, Y., Birdsey, R., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P., Kurz, W., Phillips, O., Shvidenko, A., Lewis, S., Canadell, J., Ciais, P., Jackson, R., Pacala, S., McGuire, A., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. ja Hayes, D. (2011), “A large and persistent carbon sink in the world's forests”, *Science* 333(6045): 988–993.
- Pihlainen, S., Tahvonen, O. ja Niinimäki, S. (2014), “The economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands”, *Canadian Journal of Forest Research* 44: 1091–1102.
- Pihlainen, S., Tahvonen, O. ja Mäkelä, A. (2018), “Economics of boreal Scots pine stands in a changing climate”, Käsikirjoitus.
- Tahvonen, O., Pihlainen, S. ja Niinimäki, S. (2013), “On the economics of optimal timber production in boreal Scots pine stands”, *Canadian Journal of Forest Research* 43: 719–730.
- Viitala E.-J. (2016), *The emergence and early development of forest resource economic thought: From land and forest valuation to marginal analysis and vintage capital models*, Dissertationes Forestales 212, <https://doi.org/10.14214/df.212> (viitattu 25.4.2018).